

(19) RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE
PARIS

(11) N° de publication :
(à n'utiliser que pour les
commandes de reproduction)

2 570 546

(21) N° d'enregistrement national :

84 14189

(51) Int Cl^a : H 01 Q 1/36 // H 04 B 7/02.

(12)

DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

(22) Date de dépôt : 17 septembre 1984.

(30) Priorité :

(43) Date de la mise à disposition du public de la
demande : BOPI « Brevets » n° 12 du 21 mars 1986.

(60) Références à d'autres documents nationaux appa-
rentés :

(71) Demandeur(s) : AGENCE SPATIALE EUROPEENNE, or-
ganisation intergouvernementale. — FR.

(72) Inventeur(s) : Dennis, Leslie Brown.

(73) Titulaire(s) :

(74) Mandataire(s) : Cabinet Claude Rodhain.

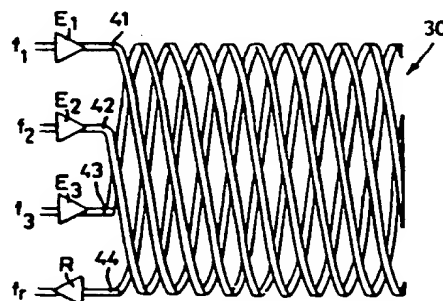
(54) Antenne multifilaire hélicoïdale pour la transmission simultanée de plusieurs signaux d'émission et de réception VHF/UHF.

(57) L'invention concerne le domaine des antennes utilisées dans les communications spatiales et notamment les antennes montées sur les satellites artificiels de télécommunication.

Le problème résolu consiste à réaliser une telle antenne fonctionnant en multiplex, d'encombrement minimal, pour émettre et/ou recevoir des signaux de fréquences proches.

Selon l'invention, l'antenne est une antenne multifilaire hélicoïdale, constituée de brins de rayonnement indépendants, enroulés en hélice autour d'un même noyau et décalés angulairement de manière régulière les uns par rapport aux autres, au moins deux de ces brins étant chacun connecté à un appareil émetteur ou récepteur distinct.

Application préférentielle comme système diplexeur d'un élément source d'une antenne à réflecteur.



"Antenne multifilaire hélicoïdale pour la transmission simultanée de plusieurs signaux d'émission et de réception VHF/UHF.

L'invention concerne le domaine des antennes utilisées dans les communications spatiales et notamment les antennes
5 montées sur les satellites artificiels de télécommunication.

La technologie de ces antennes est soumise à deux types essentiels de contraintes :

- les contraintes liées à la transmission des signaux radio-électriques : il s'agit notamment de la limitation
10 des registres de fréquence de transmission dans des fenêtres spécifiques, des problèmes de directivité et d'interférences entre les nombreuses émissions artificielles proches, ou encore des problèmes de parasitage par les bruits thermiques des antennes et les bruits célestes :

15 - les contraintes liées aux techniques de lancement dans l'espace des satellites de communication : il s'agit alors, particulièrement, des limitations en poids et en volume, de la fiabilité du fonctionnement des appareillages satellisés, et encore de la capacité à subir des accélérations importantes.

20 Ce second type de contraintes a conduit à développer des dispositifs satellisés d'émission et de réception, susceptibles de convenir à plusieurs utilisations différentes, afin de réduire le nombre de ces dispositifs, et donc leur poids et leur volume.

25 Ainsi, les techniques de transmission tendent à établir le plus possible, des liaisons radio-électriques en diplex (transmission simultanée de deux signaux indépendants sur un même canal), ou en multiplex (transmission simultanée de plusieurs signaux sur un même canal).

30 Grâce à ce type de liaison, un seul et même élément d'antenne peut être partagé entre plusieurs appareils d'émission et de réception, ce qui permet de diminuer sensiblement le volume et le poids du satellite, à service rendu égal.

La présente invention concerne un tel dispositif de
35 transmission simultanée de signaux radio-électriques d'émission

et de réception, de fréquences très proches, sur une antenne commune, le dispositif étant utilisable pour des communications en continu.

On connaît déjà des solutions techniques permettant de
5 réaliser la transmission simultanée par diplexage ou multiple-
xage, de signaux radio-électriques d'émission-réception, de fré-
quences très proches, sur une antenne commune. Une telle solution
connue est représentée en figure 1.

Ce dispositif connu est constitué de filtres passe-
10 bandes 11, 12, 13 branchés respectivement en sortie des émetteurs
E1, E2, E3, et connectés en aval à un mélangeur 14 dont la sortie
unique achemine le signal résultant vers l'antenne unique 30. Un
récepteur R est également connecté à la même antenne 30, à travers
un circulateur 31, dont l'objet est d'isoler l'ensemble des canaux
15 d'émission de l'ensemble des canaux de réception. Le récep-
teur R est, en outre, muni d'un filtre passe-bande 20. Le circu-
lateur 31 peut être remplacé par un duplexeur de polarisation, ou
encore supprimé pour certaines utilisations. Son rôle est d'amélior-
er l'adaptation du récepteur avec l'antenne 30, et d'assurer une
20 isolation complémentaire de celle réalisée par les filtres passe-
bandes, entre les fréquences d'émission et de réception. De leur côté
les filtres passe-bandes assurent la réjection des signaux dont la
fréquence n'est pas située à l'intérieur de la bande passante de
chacun d'eux.

Ce dispositif présente l'inconvénient d'être volumi-
25 neux lors de son utilisation pour des fréquences basses des gammes
VHF/UHF. La taille et le poids des filtres et des mélangeurs qui
sont alors utilisés, sont relativement importants et constituent
un handicap évident à la satellisation; ces éléments volumineux
30 constituent, en outre, une source potentielle d'intermodulation
passive. Suivant le nombre de sections, les pertes dans la chaîne
de multiplexage/diplexage peuvent varier entre 0,5 dB et 1 dB.

L'objet de l'invention est en conséquence de fournir
un dispositif de transmission en multiplex sur une antenne commune
35 permettant de supprimer l'utilisation d'un mélangeur, et même dans
certains cas, l'utilisation des filtres passe-bandes

Selon l'invention, le dispositif pour la réception et l'émission simultanées de plusieurs signaux radio-électriques de fréquences proches ou identiques, notamment pour les communications spatiales dans les gammes VHF/UHF, est du type comprenant au moins un appareil émetteur et au moins un appareil récepteur, lesdits
5 appareils émetteur et récepteur étant reliés à une antenne commune unique; ce dispositif se caractérise en ce que l'antenne commune est une antenne multifilaire hélicoïdale, constituée de brins de rayonnement indépendants, enroulés en hélice autour d'un même no-
10 yau, lesdits brins étant décalés angulairement, de manière régulière les uns par rapport aux autres, et en ce qu'au moins deux brins de rayonnement de ladite antenne sont connectés chacun en continu à un appareil émetteur ou récepteur distinct.

Cette conception de l'antenne commune unique permet
15 d'émettre et/ou de recevoir plusieurs signaux, dont les fréquences porteuses sont relativement proches les unes des autres mais différentes, avec un nombre minimal d'éléments, puisqu'il n'est plus besoin ni d'un mélangeur, ni même de filtres passe-bandes séparant les différents canaux, dans la mesure où le couplage entre les
20 différents brins de l'antenne est suffisamment faible. Il en résulte donc un gain de poids et de volume pour l'équipement satellisé.

D'autre part, on peut également utiliser plusieurs brins de l'antenne diplex pour émettre (ou recevoir) des signaux de même fréquence, avec un décalage de phase entre chaque fil, selon l'utilisation classique présentée
25 plus loin.

D'autres caractéristiques et avantages de l'invention apparaîtront à la lecture de la description suivante d'un mode de réalisation préférentiel, et des dessins annexés dans lesquels :

- la Fig. 1 représente un dispositif de l'art connu pour l'émission-réception en diplex sur une antenne commune,
30

- la Fig. 2 représente les caractéristiques du couplage intervenant entre les différents brins de l'antenne suivant l'invention, en fonction de la fréquence,

- la Fig. 3 représente l'antenne quadrifilaire hélicoïdale suivant
35 l'invention.

L'invention constitue en fait, un nouveau développement de la technologie des antennes hélicoïdales. La résolution du problème posé, à savoir la conception et la réalisation

de dispositifs de transmission VHF/UHF fonctionnant en multiplex, a tout d'abord conduit à explorer les différents types d'antennes VHF/UHF (ondes dont la fréquence est supérieure à 30 MHz). Il est apparu qu'une antenne multifilaire hélicoïdale présente des avantages déterminants pour une application satellisée.

Cette découverte a conduit à adapter ce type d'antenne aux dispositifs de transmission en multiplex, alors qu'il était jusque là étudié avec une source d'excitation unique, sous le seul angle d'une extension des antennes hélicoïdales unifilaires. Des essais ont permis au déposant, enfin, de vérifier que l'invention présente une réelle efficacité, conjointement aux avantages requis pour la satellisation.

Les antennes utilisées le plus souvent en communication spatiale sont les antennes à réflecteur, du type à source frontale ou Cassegrain par exemple. Ce type d'antenne est utilisé dans le domaine des hyperfréquences (ondes > 1GHz).

Pour les bandes VHF/UHF il existe plusieurs types d'antennes, assez différents les uns des autres. On utilise couramment les antennes dipôles sous forme d'éléments superposés, et notamment les dipôles chemisés demi-ondes en superposition verticale. Ces antennes, de type omni-directionnel présentent un gain élevé, et sont utilisées fréquemment en station terrestre. Dans les applications point à point, on utilise plutôt des réseaux d'antennes à grande ouverture, des antennes dièdres, ou des antennes Yagi. On connaît également les antennes LPA (log périodiques).

Dans le domaine des antennes à encombrement réduit, les antennes fouets présentent un grand avantage de simplicité et de fiabilité mais correspondent à des utilisations en bandes de fréquences étroites. En revanche, dans ce domaine des antennes à encombrement réduit, l'antenne hélicoïdale apparaît tout à fait favorable pour des utilisations satellisées. Là où la plupart des antennes précédemment citées présentent un encombrement linéaire ou surfacique, et nécessitent souvent une opération de déploiement dans l'espace, l'antenne hélicoïdale séduit par sa robustesse et sa taille réduite. En contre-partie de ces avantages, l'antenne hélicoïdale fonctionne généralement en bande étroite, dans la

mesure où sa faible résistance de rayonnement doit être compensée par une longueur suffisante des brins pour permettre la résonance.

Or, des études ont été menées sur la possibilité de réaliser des antennes hélicoïdales sous la forme de plusieurs brins enroulés autour d'un même noyau, et dont les boucles sont intercalées les unes entre les autres. Ainsi, dans un article intitulé "l'antenne hélicoïdale quadrifilaire" paru en Mars 1974 dans la revue "IEE TRANSACTION ON ANTENNAS AND PROPAGATION, Volume AP-22 n° II" (pp. 173-178), A. Adams et AL. décrivent les résultats expérimentaux obtenus avec des antennes de ce type. Dans l'utilisation classique de ces antennes hélicoïdales quadrifilaires, les brins sont alimentés normalement avec un décalage de phase de 90° , les uns par rapport aux autres, à partir d'une source d'excitation unique. Une telle antenne présente un diagramme de rayonnement unidirectionnel, selon son axe longitudinal, pour certaines dimensions (lorsque la circonférence de l'hélice est comprise entre 0,4 et 2,0 fois la longueur d'onde de travail). A. Adams met en évidence deux avantages déterminants de l'antenne hélicoïdale quadrifilaire par rapport à l'antenne unifilaire, à savoir :

- une augmentation de la largeur de bande, et,
- l'abaissement de la fréquence nécessaire pour obtenir un fonctionnement en mode axial.

A partir de ces constatations, l'auteur a établi les diagrammes de rayonnements correspondant à différents modes de réalisation d'antennes quadrifilaires, notamment pour des angles d'inclinaison des enroulements, des diamètres et des longueurs d'antennes variables.

Ces avantages de l'antenne quadrifilaire en font une antenne qui se prête particulièrement à une application satellisée. L'inconvénient principal de cette technologie réside dans la plus grande complexité du système d'alimentation, mais cet inconvénient reste tout à fait relatif par rapport aux avantages obtenus.

C'est alors qu'on a découvert qu'il est possible d'exciter les différents brins d'une antenne quadrifilaire ou plus généralement multifilaire par différentes sources d'alimentation et non

.6.

plus par une source d'alimentation commune. Bien que cette nouvelle application puisse paraître hasardeuse au premier abord, les essais ont montré que, dans le cas où les fréquences en question sont suffisamment proches les unes des autres, le couplage entre les différents signaux reste limité, et l'antenne présente une bonne efficacité.

Un modèle de calcul du champ électromagnétique produit le long de l'axe longitudinal Z d'une antenne en hélice est rapporté par S. Sensiper dans la revue Proc. IRE (Février 1955 pp. 149-161) sous le titre "propagation des ondes électromagnétiques dans les structures hélicoïdales". Ce modèle, dit de l'hélice-ruban, par opposition notamment au modèle de l'hélice-tube en forme de tube continu, part de l'hypothèse que l'hélice est formée d'un fil supposé d'être un parfait conducteur, présentant une épaisseur radiale nulle mais une épaisseur axiale de valeur finie. Dans la mesure où l'hélice est ainsi considérée comme une structure périodique, les champs magnétiques sont multipliés par une constante complexe qui est une fonction des paramètres d'enroulement de l'hélice et de sa longueur z . Les champs magnétiques le long de l'axe Z peuvent être exprimés de la manière suivante :

$$E(z) = E_m e^{-j\beta_0 z} \cdot e^{-jm(\frac{2\pi}{Np}) z}$$

$$= E_m e^{-j\beta_m z}$$

$$\text{où } \beta_m = \beta_0 + m \cdot \frac{2\pi}{Np}, \quad \beta_0 = \frac{2\pi}{\lambda}$$

avec m = nombre entier correspondant au mode d'onde ($m=1$ est le mode de rayonnement axial)

N = nombre d'hélices ou de brins distincts enroulés sur le noyau commun

p = pas de l'hélice.

La figure 3 représente un mode de réalisation préférentiel de l'invention dans lequel l'hélice hélicoïdale est quadrifilaire, et est donc constituée de quatre brins 41, 42, 43, 44 enroulés autour d'un même noyau, et dont les spires sont
 5 intercalées les unes entre les autres. Dans ce cas, et en reprenant dans les équations mentionnées ci-dessus, la valeur $m = 1$ (rayonnement axial) et $N = 4$ (hélice quadrifilaire), on obtient :

$$E(z) = E_1 e^{-j\beta_0 z} e^{-j\frac{\pi z}{2p}}$$

10

$$\text{et } \beta_1 = \beta_0 + \frac{\pi z}{2p}$$

On note que selon ce mode de réalisation, les champs
 15 s'additionnent le long de l'axe z pour des hélices individuelles disposées selon des intervalles de quart d'ondes.

Une hélice quadrifilaire a été réalisée, et les expériences et les mesures effectuées ont montré que le couplage entre les brins hélicoïdaux est périodique, et présente la
 20 forme d'onde caractéristique d'une onde stationnaire, probablement à cause de l'interférence modale. Le couplage reste faible avec un maximum de - 20 dB et un minimum de - 50 dB (voir fig.2). En tenant compte de cette isolation relative existant entre les différents brins de l'antenne quadrifilaire, et donc entre les signaux de
 25 fréquence proche des émetteurs et des récepteurs qui lui sont connectés, on peut choisir les fréquences d'émission et de réception de façon à se placer dans les conditions optimales d'isolation.

Dans le mode de réalisation présenté en figure 3, l'antenne quadrifilaire est connectée à trois émetteurs E_1, E_2, E_3
 30 par trois premiers brins hélicoïdaux 41, 42, 43, et à un récepteur R par son quatrième et dernier brin hélicoïdal 44. Les fréquences d'émission des émetteurs E_1, E_2, E_3 sont respectivement f_1, f_2, f_3 , et la fréquence de réception du récepteur R est notée f_r .

35

Puisqu'on a constaté que l'isolation est grande entre les signaux de fréquence f_1 , f_2 , f_3 et de fréquence f_r , on dispose les fréquences d'émission et de réception comme indiqué en figure 2.

5 L'antenne quadrifilaire agit comme un diplexeur, dans le sens où elle permet de séparer les voies d'émission et de réception, et joue le rôle d'un mélangeur et d'un dispositif de rayonnement pour les fréquences transmises. Il faut noter que le gain total de l'antenne a la même valeur que le gain d'un brin hélicoïdal unique.

10 La configuration générale du dispositif présenté en figure 3, fournit les mêmes fonctions que le système représenté en figure 1. Il est clair que la réalisation de l'antenne avec 4 brins distincts ne constitue qu'un exemple et que l'invention concerne toute antenne multifilaire comprenant au moins deux brins
15 hélicoïdaux distincts. De la même manière, chacun des brins peut être aussi bien relié à un émetteur qu'à un récepteur, sans que l'on puisse limiter l'invention à la configuration représenté en figure 3.

L'invention présente finalement les avantages suivants
20 par rapport à l'art antérieur :

- elle supprime le recours à des mélangeurs hybrides ou du type de Wilkinson, et donc les pertes de puissance que ces mélangeurs entraînent,
- les filtres diplexeurs peuvent être supprimés pour
25 les applications en faible puissance,
- le nombre des filtres diplexeurs peut être substantiellement réduit pour les applications de forte puissance,
- et enfin, l'hélice quadrifilaire peut être réalisée par la technologie des circuits imprimés avec tous les avantages
30 de poids, de résistance aux charges liées à la mise sur orbites ou encore de possibilités de production de masse, etc... que cette technologie permet.

Enfin, l'invention peut être utilisée comme système duplex de rayonnement dans un élément source d'une antenne à réflecteur. Une application
35 préférentielle de l'invention est l'utilisation dans les transporteurs de satellites avancés et dans les bandes fréquences VHF/UHF.

REVENDEICATIONS

1°) Dispositif pour assurer simultanément la réception et l'émission de plusieurs signaux radio-électriques de fréquences proches ou identiques, notamment pour les communications spatiales en continu dans les gammes d'ondes VHF/UHF, du type comprenant au moins un appareil émetteur et au moins un appareil récepteur, lesdits appareils étant reliés à une antenne commune unique, dispositif caractérisé en ce que cette antenne est une antenne multifilaire hélicoïdale, constituée de brins de rayonnement indépendants, enroulés en hélice autour d'un même noyau, lesdits brins étant décalés angulairement de manière régulière les uns par rapport aux autres, au moins deux de ces brins étant chacun connecté en continu à un appareil émetteur ou récepteur distinct.

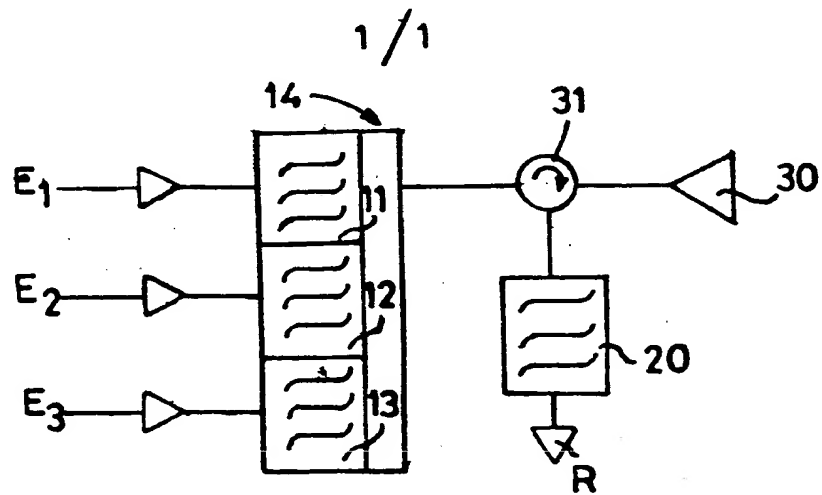
2°) Dispositif selon la revendication 1, caractérisé en ce que l'antenne hélicoïdale est quadrifilaire, trois des brins de rayonnement hélicoïdaux indépendants (41,42,43) étant chacun séparément connectés à un émetteur E_1 , E_2 , E_3 distincts, le quatrième brin (44) étant connecté à un récepteur R.

3°) Dispositif selon l'une quelconque des revendications 1 et 2, caractérisé en ce que l'antenne multifilaire est à rayonnement axial, la circonférence de chacun de ses brins hélicoïdaux (41,42,43,44) étant comprise entre 0,4 et 2,0 fois la longueur d'onde des signaux transmis.

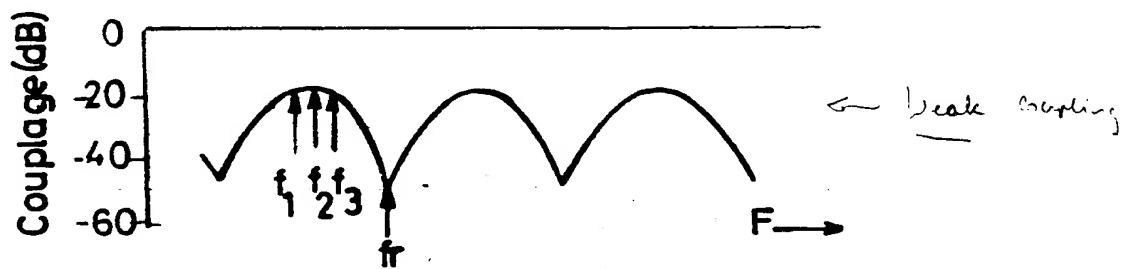
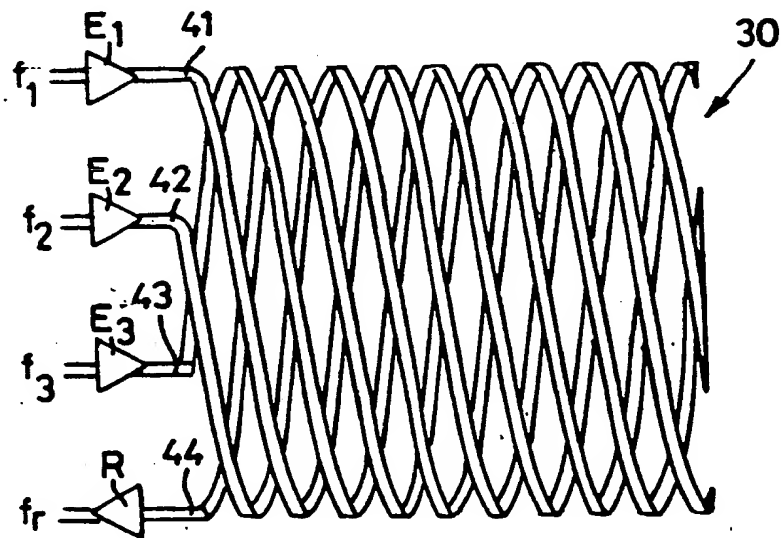
4°) Dispositif selon l'une quelconque des revendications 1 à 3, caractérisé en ce que l'antenne multifilaire est réalisée par la technologie des circuits imprimés.

5°) Dispositif selon l'une quelconque des revendications 1 à 3, caractérisé en ce que l'antenne multifilaire est combinée à des filtres diplexeurs pour les applications de fortes puissance.

6°) Dispositif selon l'une quelconque des revendications 1 à 5, caractérisé en ce que l'antenne multifilaire constitue un système diplexeur d'un élément source d'une antenne à réflecteur.

FIG. 1

PRIOR ART

FIG. 2FIG. 3